

ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 681.784

**ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ОФТАЛЬМОЛОГІЧНОГО РЕФРАКТОМЕТРА, ЩО ВИМІРЮЄ АМЕТРОПІЮ
ТА АСТИГМАТИЗМ ОКА МОДИФІКОВАНИМ МЕТОДОМ ФУКО***Афончина Н.Б., Чиж І.Г.**Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна*

Розроблено методику проектування оптичної системи вимірювача рефракції за методом Фуко. Отримані математичні залежності дозволяють здійснювати габаритний розрахунок оптичної системи рефрактометра та її параметричну оптимізацію, визначати прийнятне значення лінійного збільшення в оптично спряжених площинах зіниці ока та фотоприймача, а також максимально допустиму величину діаметру аналізуючої мікродіафрагми. На основі проведеного дослідження ґрунтується вдосконалення апаратного та математичного забезпечення рефрактометрії ока методом Фуко, спрямоване на розширення робочого діапазону вимірюваних аберацій та зменшення похибок вимірювань.

Ключові слова: *модифікований метод Фуко, параметрична оптимізація.*

Вступ

Вимірювання аметропії та астигматизму ока людини модифікованим методом Фуко є новим напрямком розвитку офтальмологічної рефрактометрії [1, 2]. Основними перевагами вищевказаного методу є відносна простота його апаратного та математичного забезпечення. Первинні дослідження методу показали, що його чутливість до зміни величини аметропії чи астигматизму не є однаковою у діапазоні вимірювання цих аберацій [3]. Так, чутливість до зміни гіперметропії є нижчою, ніж чутливість до зміни міопії. Різниця чутливостей є найбільшою на краях діапазону вимірювання аметропії та астигматизму. Тому похибки вимірювання гіперметропії та міопії не є однаковими. Чутливість рефрактометра також залежить від діаметру аналізуючої мікродіафрагми (АМД). Із зменшенням діаметру АМД чутливість теоретично повинна зростати, але при цьому зменшується світловий потік, що проходить через отвір АМД, збільшується чинник впливу шумів на результати вимірювань, що погіршує точність вимірювань. Тому актуальними є задачі вирівнювання чутливості в робочому діапазоні та пошуку оптимального діаметру АМД. Результати досліджень, пов'язаних з вирішенням вказаних задач, необхідні для створення методики проектування і параметричної оптимізації оптичної системи вимірювача рефракції за методом Фуко.

Мета досліджень – вдосконалення апаратного та математичного забезпечення рефрактометрії ока методом Фуко, спрямоване на розширення робочого діапазону вимірюваних аберацій та зменшення похибок вимірювань.

Постановка задач та методи їх розв'язання

Чутливість вимірювальної системи визначається як відношення приросту вихідного сигналу до приросту вхідного. У нашому випадку вхідним сигналом є величина аметропії ока, яка вимірюється, вихідним – відстань між об'єктивом та площиною утвореного ним зображення освітленої зони сітківки. Положення цього зображення встановлюється за допомогою аналізуючої мікродіафрагми, [2]. Із попередніх розрахунків чутливості вимірювача при лінійному збільшенні в оптично спряжених площинах «зіниця ока – світлочутлива площа фотоприймача» $\beta = -0.5$, яке дозволяє використовувати фотоприймачі типу ПЗЗ мінімального формату $\frac{1}{4}$ ", чутливість вимірювача на краях діапазону відрізняється приблизно у 650 разів, що є недопустимим для вимірювальних систем. У зв'язку з цим необхідним є поглиблене дослідження залежності чутливості рефрактометра від параметру β .

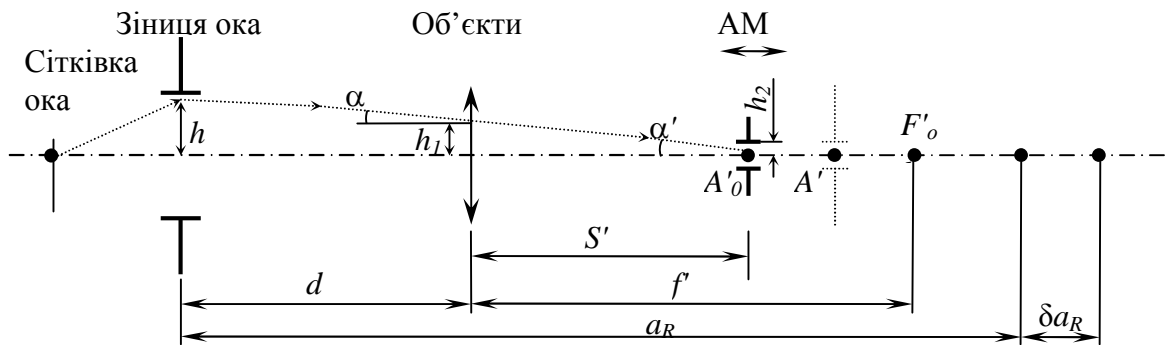


Рис.1. До визначення функції перетворення $S'(A_r)$.

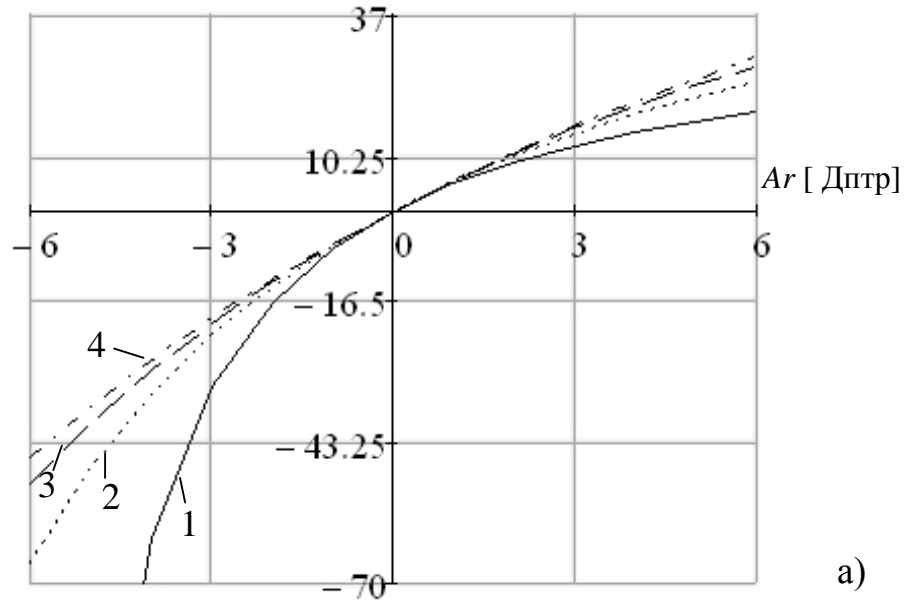
На основі теорії оптики нульових променів [4] були знайдені вирази (1) та (2), що встановлюють зв'язок між величиною аметропії ока A_R та відстанню S' , яка вказує положення АМД. Позначення, використані у (1) та (2), вказані на рис.1.

$$S'(A_R) = \frac{1 + \frac{d \cdot A_R}{1000}}{\frac{A_R}{1000} \cdot \left(\frac{d}{f'} - 1 \right) + \frac{1}{f'}}, \quad (1), \text{ де } d = -f' \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right). \quad (2)$$

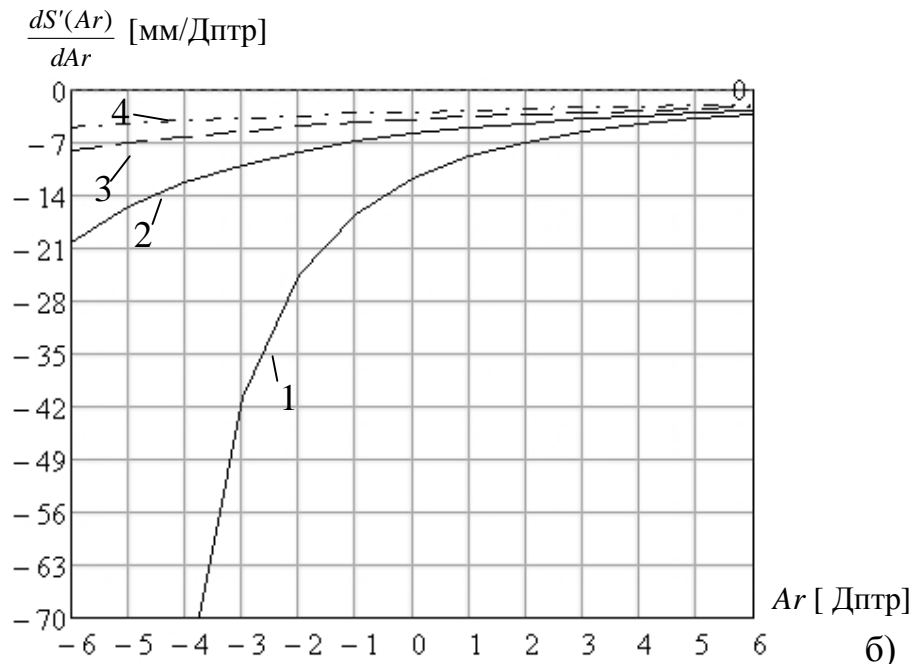
Як видно з графіків (рис.2,б), діапазон величини чутливості рефрактометра у вказаному на графіку діапазоні вимірюваної аметропії зменшується при зростанні величини $|\beta|$. Але це зростання потребує збільшення осьового габариту оптичної системи рефрактометра та формату матриці фотоприймача.

З геометричної оптики відомо, що при $\beta = -1$ відстань між площиною предмета та площиною його дійсного зображення є мінімальною. Виходячи з цього, а також враховуючи доцільність використання у рефрактометрі матриць меншого формату, що збільшує його швидкодію, оптимальною можна вважати величину $\beta = -1$.

$S'(Ar)$ [мм]



а)



б)

Рис. 2. Графіки функції $S'(Ar)$ (а), та її похідної по Ar (чутливості)(б), де
1 – $\beta = -0,5$; 2 – $\beta = -1$; 3 – $\beta = -1,5$; 4 – $\beta = -2$.

При такому значенні β величина чутливості рефрактометра у вказаному діапазоні вимірюваної аметропії змінюється у 7,38 разів, що майже на два порядки менше, ніж при $\beta = -0,5$.

Якщо зона зіниці, де вимірюється аметропія, становить 6 мм, то для нормального функціонування рефрактометра потрібен формат матриці фотоприймача $1/2''$, а при діаметрі зони зіниці 4 мм – формат $1/3''$. Вказані формати дозволяють реєструвати зображення практично всього отвору зіниці ока пацієнта, що є необхідним для реалізації методу Фуко.

Визначення діаметру аналізуючої мікродіафрагми

Через отвір мікродіафрагми проходять промені, які фокусуються не тільки у площині АМД, але й на деякій відстані від неї вздовж оптичної осі. Ця відстань є тим більшою, чим більшим є діаметр АМД. Таке явище викликає похибку визначення величини $S'(A_R)$ і похибку рефрактометрії. Для зменшення цієї похибки необхідно зменшувати діаметр АМД. Вказану похибку теоретично можна виключити, якщо діаметр АМД зробити рівним нулю, але при цьому світловий потік, що надходить на фотоприймач, повністю перекривається. Тому необхідно знайти такий максимальний діаметр АМД, при якому похибка визначення аметропії ΔA_R ще не перевищує заданої величини.

Поставлену задачу можна розв'язати, якщо встановити математичний зв'язок між діаметром АМД та величиною ΔA_R . Цей зв'язок був знайдений. Він представлений наступним виразом

$$D_{\text{АМД}} = 2h \left[1 + \frac{d \cdot (A_R + \Delta A_R)}{1000} - \left[\frac{(1000 + d \cdot A_R) \cdot f'}{A_R(d - f')} \right] \cdot \left[\frac{A_R + \Delta A_R}{1000} \left(\frac{d}{f'} - 1 \right) + \frac{1}{f'} \right] \right], \quad (3)$$

де $2h$ – діаметр зіниці ока.

Клінічною практикою встановлено, що похибка визначення і коригування аметропії ока, що не перевищує $\pm 0,125$ Дптр, фактично не змінює гостроти зору людини. При величинах аметропії більш ніж ± 3 Дптр за допустиму вважають похибку $\pm 0,25$ Дптр.

При визначенні величини $D_{\text{АМД}}$ нами був використаний більш жорсткий допуск $\Delta A_R = \pm 0,125$ Дптр, величина $\beta = -1$ та діапазон вимірюваної аметропії ± 6 Дптр. На рис. 3 графіком показано залежність діаметру АМД від величини вимірюваної аметропії, отриману при вказаних умовах.

З приведенного графіку можна визначити максимально допустиму величину $D_{\text{АМД}}$, яка дорівнює мінімальному значенню функції $D_{\text{АМД}}(A_R)$ на вказаному діапазоні A_R . Як видно з графіку, ця величина становить 0,04 мм.

Висновки

1. Математичний аналіз чутливості рефрактометра до зміни величини аметропії, а також похибки вимірювання аметропії модифікованим методом Фуко, залежної від діаметру мікродіафрагми, дозволив визначити прийнятне значення лінійного збільшення в оптично спряжених площинах зіниці ока та фотоприймача, а також максимально допустиму величину діаметру мікродіафрагми.
2. Встановлене значення лінійного збільшення $\beta = -1$ та діаметру АМД $D_{\text{АМД}} = 0,04$ мм.
3. Отримані математичні залежності дозволяють здійснювати габаритний розрахунок оптичної системи рефрактометра та її параметричну оптимізацію.

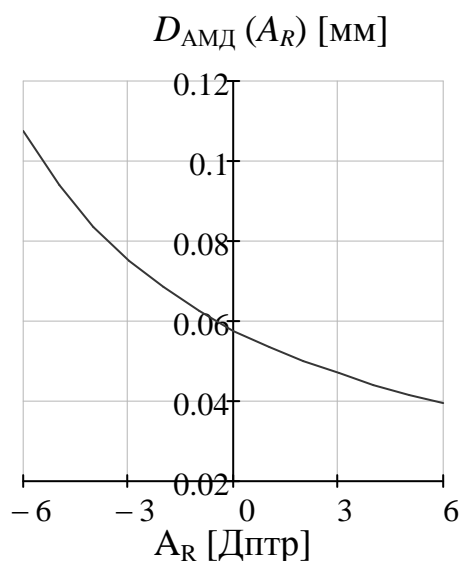


Рис. 3. Графік функції $D_{амд}(A_R)$ до визначення максимального значення діаметру АМД.

- Для уточнення величини діаметру мікродіафрагми з урахуванням чиннику дефіциту світлового потоку, що надходить через отвір мікродіафрагми на фотоприймач, необхідно здійснити макетування рефрактометра та виконати експериментальні дослідження інструментальних похибок цього вимірювача в реальних умовах його експлуатації.

Література

- El Hage S. G. Contribution of the crystalline lens to the spherical aberration of the eye/ S. G. El Hage, F Berny // JOSA. – 1973. – V. 63. – P. 205–211.
- Чиж І.Г. Метод відтворення функції хвильової аберації за картинами ізодіоптрійних зон на зіниці ока / І.Г.Чиж, Н.Б.Афончина, Т.М. Якименко // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2010. – № 40. – С. 119-125.
- Чиж І.Г. До обґрунтування діапазонів вимірювання аметропії та астигматизму ока офтальмологічними аберометрами / І.Г.Чиж, Н.Б.Афончина, Т.М. Якименко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2010. – № 1. – С. 151 – 157.
- Бегунов Б.Н. Теория оптических систем / Б. Н. Бегунов, Н. П. Заказов. – М.: Машиностроение, 1973. – 235с.

References

- El Hage S. G. Contribution of the crystalline lens to the spherical aberration of the eye/ S. G. El Hage, F Berny // JOSA.–1973. –V.63. – P.205–211.
- Chyzh I. The method of wave aberration function recovery by isodiopter zones pictures on eye pupil / I.Chyzh, N.Afonchyna, T.Yakimenko // BULLETIN of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” Series INSTRUMENT MAKING. –2010.– № 40. – P. 119-125 [ukr].
- Chyzh I. The basis of eye ametropy and astigmatism diapasons measuring by ophthalmological aberrometers / I.Chyzh, N.Afonchyna, T.Yakimenko // NTUU “KPI” Scientific proceedings. – 2010. – № 1. – С. 151 – 157. [ukr]

4. B.Begunov. Optical systems theory / B.Begunov, N.Zakaznov. – M.: Mechanical engineering, 1973. – 235p. [rus]

Н.Б. Афончина, И.Г. Чиж

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г.Киев, Украина

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОГО РЕФРАКТОМЕТРА, КОТОРЫЙ ИЗМЕРЯЕТ АМЕТРОПИЮ И АСТИГМАТИЗМ ГЛАЗА МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ФУКО

Разработана методика проектирования оптической системы измерителя рефракции методом Фуко. Полученные математические зависимости позволяют осуществлять габаритный расчет оптической системы рефрактометра и ее параметрическую оптимизацию, определять приемлемое значение линейного увеличения в оптически сопряженных плоскостях зрачка глаза и фотоприемника, а также максимально допустимую величину диаметра анализирующей микродиафрагмы. Проведенное исследование позволяет путем оптимизации аппаратного и математического обеспечения рефрактометрии глаза методом Фуко расширить рабочий диапазон измеряемых аберраций и уменьшить погрешности измерений.

Ключевые слова: модифицированный метод Фуко, параметрическая оптимизация.

N.Afonchyna., I.Chyzh

National Technical University of Ukraine 'Kyiv Polytechnic Institute', Kiev, Ukraine

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF THE MODIFIED FOUCALT REFRAKTO METER OPTICAL SYSTEM

Technique of the modified Foucault refraktometer optical system engineering was developed. The mathematical expressions makes it possible to realize the overall calculation calculation and parametric optimization of the refraktometer optical system and to estimate optimal linear magnification in optically conjugated planes of eye pupil and photodetector and maximum permissible diameter of analyzing microaperture. Optimization of modified Foucault refractometer hardware and software makes it possible to increase the measurement operating range and to decrease measurement errors.

Keywords: modified Foucault method, parametric optimization.

*Надійшла до редакції
30 травня 2011 року*

УДК 577.169: 616.152.21

СЕНСОР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРЦІАЛЬНОГО ТИСКУ КИСНЮ В ПІДШКІРНИХ ТКАНИНАХ

Воронов С.О., Котовський В.Й, Голець П.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

В роботі представлений сенсор для визначення парціального тиску кисню у підшкірних тканинах транскутанним методом, який застосовується для діагностики та контролю стану пацієнтів у процесі лікування.

Показані особливості сенсору кисню для дослідження газообмінних процесів у біологічних об'єктах, проведено аналіз проблеми створення конструкції транскутанного